

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

11 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 040 500

21 N° d'enregistrement national : 15 58053

51 Int Cl⁸ : G 02 B 6/122 (2017.01), G 01 N 21/65

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 31.08.15.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 03.03.17 Bulletin 17/09.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablissement public — FR et UNIVERSITE DE TECHNOLOGIE DE TROYES Etablissement public — FR.

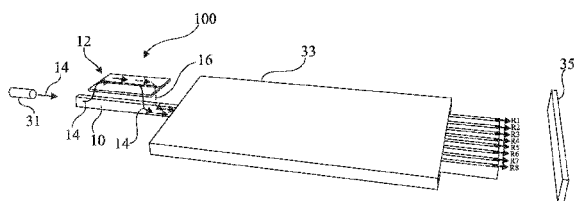
72 Inventeur(s) : BOUTAMI SALIM, ADAM PIERRE MICHEL et LABEYE PIERRE.

73 Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablissement public, UNIVERSITE DE TECHNOLOGIE DE TROYES Etablissement public.

74 Mandataire(s) : CABINET BEAUMONT.

54 DISPOSITIF DE DETECTION A DIFFUSION RAMAN AMPLIFIEE DE SURFACE.

57 L'invention concerne un dispositif de détection à diffusion Raman amplifiée de surface, comportant: un guide d'onde (10); un guide métallique à fente (12) recouvrant partiellement le guide d'onde (10); une source laser (31) couplée à une première extrémité du guide d'onde (10); et un dispositif d'analyse spectrale (33, 35) couplé à une deuxième extrémité du guide d'onde (10).



FR 3 040 500 - A1



DISPOSITIF DE DÉTECTION À DIFFUSION RAMAN AMPLIFIÉE DE SURFACEDomaine

La présente demande concerne un détecteur SERS, c'est-à-dire un dispositif d'analyse ou de détection utilisant un phénomène de SERS (de l'anglais "Surface Enhanced Raman Scattering" - diffusion Raman amplifiée de surface).

Exposé de l'art antérieur

La détection SERS est une technique non destructive et non invasive permettant de détecter la présence de molécules à l'état de traces. Cette technique est basée sur l'amplification de la diffusion Raman au voisinage d'une surface métallique.

Lorsqu'un rayonnement lumineux interagit avec une molécule ou un atome, un phénomène de diffusion se produit. La plupart des photons diffusés par la molécule sont diffusés élastiquement, c'est-à-dire qu'ils sont renvoyés dans des directions diverses sans modification de leur niveau d'énergie et sans modification de leur longueur d'onde. Cette diffusion est appelée diffusion de Rayleigh. Une petite proportion des photons est toutefois diffusée de manière inélastique, c'est-à-dire qu'un échange d'énergie se produit entre les photons et la molécule, de sorte que la longueur d'onde de la lumière diffusée est différente de la longueur d'onde incidente. Plus particulièrement, pour une même espèce de molécule, certains photons perdent de l'énergie

lors de leur interaction avec la molécule et sont diffusés avec une longueur d'onde plus élevée que celle de la lumière incidente - on parle alors de diffusion Raman Stokes - et d'autres photons (généralement moins nombreux) gagnent de l'énergie lors de leur interaction avec la molécule et sont diffusés avec une longueur d'onde plus faible que la lumière incidente - on parle alors de diffusion Raman anti-Stokes.

Le décalage fréquentiel entre le rayonnement Raman et le rayonnement incident dépend du type de molécule considéré. L'analyse spectrale du signal Raman permet de détecter les espèces présentes dans le milieu avec lequel interagit la lumière, et de mesurer leur concentration.

L'intensité des raies du signal Raman est naturellement extrêmement faible, typiquement inférieure à 0,00001% de l'intensité de la source lumineuse d'éclairement. L'analyse spectrale du signal Raman est par conséquent difficile à mettre en oeuvre, et seules de fortes concentrations des substances d'intérêt peuvent être détectées.

L'intensité du signal Raman peut toutefois être amplifiée d'un facteur significatif, typiquement de l'ordre de 2 à 10 ordres de grandeur, si l'échantillon à analyser est placé en contact ou au voisinage d'une surface métallique. Il s'agit du phénomène de SERS, dont une explication possible est liée à la présence de plasmons générés à la surface du métal sous l'effet du rayonnement lumineux, entraînant une augmentation du champ électromagnétique vu par les molécules de l'échantillon, ce qui provoque un renforcement de la diffusion Raman. Dans une telle configuration, des concentrations faibles de molécules, voire des molécules uniques, peuvent être détectées.

Les dispositifs de détection SERS connus sont des dispositifs de laboratoire basés sur des architectures de microscopes optiques classiques. Ces dispositifs sont relativement encombrants, complexes et coûteux.

Il existe un besoin pour un dispositif de détection SERS plus simple et plus compact que les dispositifs connus.

Résumé

Pour cela, un mode de réalisation prévoit un dispositif de détection à diffusion Raman amplifiée de surface, comportant : un guide d'onde ; un guide métallique à fente recouvrant partiellement le guide d'onde ; une source laser couplée à une première extrémité du guide d'onde ; et un dispositif d'analyse spectrale couplé à une deuxième extrémité du guide d'onde.

Selon un mode de réalisation, le guide d'onde et le guide métallique à fente sont agencés de façon à obtenir un couplage électromagnétique entre les deux guides pour un signal lumineux généré par la source laser.

Selon un mode de réalisation, le guide métallique à fente est adapté à contenir un échantillon à analyser, et le dispositif d'analyse spectrale est configuré pour mesurer différentes composantes d'un signal de diffusion Raman produit dans le guide métallique à fente lors de l'interaction de la lumière émise par la source laser avec l'échantillon.

Selon un mode de réalisation, le dispositif d'analyse spectrale comprend un démultiplexeur et un photodétecteur adapté à mesurer l'intensité lumineuse fournie par des voies de sorties distinctes du démultiplexeur.

Selon un mode de réalisation, le démultiplexeur comprend une pluralité d'éléments résonants tels que des disques ou des anneaux.

Selon un mode de réalisation, le démultiplexeur comprend un réseau dispersif de guides d'ondes.

Selon un mode de réalisation, le démultiplexeur comprend un étage de filtrage du signal émis par la source laser.

Selon un mode de réalisation, le guide d'onde, le guide métallique à fente et le démultiplexeur sont disposés sur un même substrat de support et forment un même composant d'optique intégrée.

Selon un mode de réalisation, une portion du guide d'onde située entre la première extrémité du guide d'onde et la zone de recouvrement du guide d'onde par le filtre métallique à

fente comprend un premier élément transparent pour le signal émis par la source laser et réfléchissant pour un signal obtenu par diffusion Raman Stokes du signal émis par la source laser.

5 Selon un mode de réalisation, le dispositif comporte en outre un deuxième élément transparent pour le signal émis par la source laser et réfléchissant pour un signal obtenu par diffusion Raman anti-Stokes du signal émis par la source laser.

10 Selon un mode de réalisation, le guide d'onde comprend des première et deuxième portions distantes alignées, et le guide métallique à fente recouvre partiellement les première et deuxième portions ainsi que l'espace séparant les première et deuxième portions.

Brève description des dessins

15 Ces caractéristiques et avantages, ainsi que d'autres, seront exposés en détail dans la description suivante de modes de réalisation particuliers faite à titre non limitatif en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

20 la figure 1 est une vue en perspective schématique et partielle illustrant un exemple d'un mode de réalisation d'un dispositif de détection SERS ;

la figure 2 est une vue en coupe transversale du dispositif de la figure 1 ;

25 la figure 3 est une vue en perspective d'ensemble schématique illustrant un exemple d'un mode de réalisation d'un dispositif de détection SERS ;

la figure 4 est une vue en perspective schématique et partielle illustrant une variante de réalisation d'un dispositif de détection SERS ;

30 la figure 5 est une vue en perspective schématique et partielle illustrant une autre variante de réalisation d'un dispositif de détection SERS ; et

la figure 6 est une vue en perspective schématique et partielle illustrant une autre variante de réalisation d'un dispositif de détection SERS.

Description détaillée

De mêmes éléments ont été désignés par de mêmes références aux différentes figures et, de plus, les diverses figures ne sont pas tracées à l'échelle. Par souci de clarté, seuls les éléments qui sont utiles à la compréhension des modes de réalisation décrits ont été représentés et sont détaillés. En particulier, les applications possibles des dispositifs de détection SERS n'ont pas été décrites, les modes de réalisation décrits étant compatibles avec toutes les applications connues de dispositifs de détection SERS. Par ailleurs, dans la description qui suit, lorsque l'on fait référence à des qualificatifs de position absolue, tels que les termes "avant", "arrière", "haut", "bas", "gauche", "droite", etc., ou relative, tels que les termes "dessus", "dessous", "supérieur", "inférieur", etc., ou à des qualificatifs d'orientation, tels que les termes "horizontal", "vertical", etc., il est fait référence à l'orientation des figures, étant entendu que, en pratique, les dispositifs décrits peuvent être orientés différemment. De plus, sauf précision contraire, les expressions "approximativement", "sensiblement", et "de l'ordre de" signifient à 10 % près, de préférence à 5 % près.

La demande de brevet internationale WO2011/070249, précédemment déposée par la demanderesse et dont le contenu est considéré comme faisant partie intégrante de la présente description, décrit un dispositif de couplage d'une onde électromagnétique entre un guide d'onde et un guide métallique à fente.

La figure 1 est une vue en perspective illustrant un exemple d'un dispositif 100 de ce type.

Le dispositif 100 comprend un guide d'onde 10 pouvant se présenter sous la forme d'un ruban, et un guide métallique à fente 12 formé par deux éléments métalliques coplanaires 12a et 12b espacés de manière à délimiter une fente 12c. Le guide métallique à fente 12 est maintenu à distance du guide d'onde 10, et recouvre partiellement le guide d'onde 10 ce qui permet

l'interaction des champs évanescents des deux guides pour réaliser le couplage.

Selon un aspect d'un mode de réalisation, on prévoit d'utiliser une structure de couplage du type décrit dans la
5 demande de brevet WO2011/070249 pour réaliser un dispositif de détection SERS.

Plus particulièrement, l'échantillon à analyser est disposé dans la fente 12c ou au voisinage immédiat de la fente 12c, par exemple sous la forme d'un gaz ou d'un liquide contenant
10 les molécules ou atomes à identifier. Un signal lumineux d'excitation 14 est injecté dans le guide d'onde 10 via une première extrémité du guide d'onde 10. Le signal 14 se propage dans le guide d'onde 10, puis, du fait du couplage entre les deux guides, dans le guide métallique à fente 12. La lumière se
15 propageant dans le guide métallique à fente 12 interagit avec l'échantillon à analyser, produisant un signal Raman. Un phénomène de SERS (amplification du signal Raman) se produit en raison de la nature métallique du guide 12. Le signal Raman 16 ainsi que le signal d'excitation 14 sont à nouveau transférés par couplage dans
20 le guide d'onde 10. Un dispositif d'analyse spectrale (non visible sur la figure 1) couplé à une deuxième extrémité du guide d'onde 10 opposée à la première extrémité, permet de mesurer les raies d'intérêt du signal Raman.

Dans un exemple de réalisation illustré par les figures
25 1 et 2, le guide d'onde 10 est constitué d'un seul élément formant un ruban, par exemple en nitrure de silicium (Si_3N_4). Le guide d'onde 10 a par exemple une section transversale sensiblement carrée ou rectangulaire. Le guide d'onde 10 peut être noyé dans une couche 21 (figure 2) en un matériau diélectrique d'indice
30 optique plus faible que celui du guide 10, par exemple de la silice (SiO_2). A titre de variante, le guide d'onde 10 peut être en silicium, ou en tout autre matériau adapté à la réalisation d'un guide d'onde. Le guide d'onde 10 est de préférence monomode. Les règles de dimensionnement permettant d'obtenir un guide
35 monomode sont notamment décrites dans l'ouvrage intitulé "Optical

Waveguide Theory" de A.W. Snyder et J. Love. Les modes de réalisation décrits ne se limitent toutefois pas au cas où le guide d'onde 10 est monomode. L'ensemble formé par le guide d'onde 10 et la couche 21 peut être disposé sur un substrat de support 23 (figure 2), par exemple en verre ou en silicium. Le guide 5 métallique à fente 12 est par exemple en argent, en cuivre, en or ou en aluminium. Le guide métallique à fente 12 peut être disposé sur la face de la couche 21 opposée au substrat de support 23, c'est-à-dire sur la face supérieure de la couche 21 dans 10 l'orientation de la figure 2. L'épaisseur de la portion de couche 21 située au-dessus du guide d'onde 10 définit la distance D entre le guide d'onde 10 et le guide métallique à fente 12. Les plans moyens des guides 10 et 12 sont par exemple sensiblement parallèles et horizontaux. Le guide métallique à fente 12 est par 15 exemple constitué de deux plaques métalliques 12a et 12b d'épaisseur h , sensiblement coplanaires et espacées l'une de l'autre de manière à délimiter une fente 12c de longueur L . Dans l'exemple représenté, la fente 12c est orientée selon un axe longitudinal du guide d'onde 10. De plus, dans cet exemple, la 20 fente 12c est centrée de sorte que son axe longitudinal central soit, en projection verticale, sensiblement confondu avec l'axe longitudinal central du guide d'onde 10. La fente 12c présente de préférence une largeur w sensiblement constante sur toute sa longueur. La fente 12c est laissée libre de tout matériau de 25 remplissage de façon que l'échantillon à analyser puisse y être disposé. Dans l'exemple de la figure 1, la longueur L du guide métallique à fente 12 est inférieure à la longueur du guide d'onde 10, et le guide métallique à fente 12 recouvre une portion centrale du guide d'onde 10. Ainsi, à chaque extrémité du guide d'onde 10, 30 une portion du guide d'onde 10 n'est pas recouverte par le guide métallique à fente 12.

Dans l'exemple de configuration représenté aux figures 1 et 2, la polarisation du ou des modes supportés par le guide d'onde 10 est de préférence une polarisation transverse électrique 35 (TE), c'est-à-dire que le champ électrique est sensiblement

horizontal et perpendiculaire à la direction de propagation de la lumière, de façon à pouvoir se coupler au mode propagé par le guide à fente métallique 12, qui présente également une polarisation TE.

5 La largeur w de la fente 12c est par exemple comprise entre 10 et 100 nm et de préférence entre 10 et 50 nm. L'épaisseur h du guide métallique à fente 12 est par exemple comprise entre 10 et 100 nm et de préférence entre 10 et 50 nm. La distance D entre le guide d'onde 10 et le guide métallique à fente 12 est
10 par exemple comprise entre 10 et 100 nm et de préférence entre 10 et 50 nm. La longueur L du guide métallique à fente est par exemple comprise entre 0,5 et 10 μm .

Les modes de réalisation décrits ne se limitent pas à l'exemple particulier d'agencement et de dimensionnement du
15 dispositif de couplage qui vient d'être décrit. Plus généralement, le dispositif de couplage peut être agencé et dimensionné selon les règles d'agencement et de dimensionnement décrites dans la demande de brevet WO2011/070249 susmentionnée, de façon à obtenir un couplage entre le guide d'onde 10 et le guide métallique à
20 fente 12.

Dans l'exemple de la figure 1, la longueur L du guide à fente métallique 12 est de préférence sensiblement égale à la longueur de battement de la lumière entre les deux guides, à la longueur d'onde d'excitation considérée, de façon que le signal
25 lumineux ne soit transféré qu'une seule fois du guide d'onde 10 vers le guide métallique 12 puis du guide métallique 12 vers le guide d'onde 10 lors de son passage au niveau de la structure de couplage, et ce afin de limiter les pertes par absorption dans le guide métallique à fente 12. Les modes de réalisation décrits ne
30 se limitent toutefois pas à ce cas particulier. A titre de variante, la longueur L du guide métallique à fente 12 peut être de l'ordre de k fois la longueur de battement de la lumière entre les deux guides, avec k entier supérieur à 1. La longueur de battement L_b peut être définie par la formule $L_b = \lambda / (n_{\text{eff}1} - n_{\text{eff}2})$, λ étant la longueur d'onde du signal lumineux d'excitation
35

14, et $n_{\text{eff}1}$ et $n_{\text{eff}2}$ étant les indices effectifs des deux modes de symétries opposées, appelés supermodes, supportés par la structure de couplage comprenant l'association des deux guides 10 et 12.

5 La figure 3 est une vue en perspective d'ensemble d'un dispositif de détection SERS selon un exemple d'un mode de réalisation.

Le dispositif de la figure 3 comprend la structure de couplage 100 décrite ci-dessus en relation avec les figures 1 et 10 2, et comprend en outre, couplée à une première extrémité ou entrée du guide d'onde 10, une source laser 31 adaptée à produire le signal d'excitation 14 injecté dans le guide d'onde 10. Le dispositif de la figure 3 comprend en outre, couplé à une deuxième extrémité ou sortie du guide d'onde 10, un dispositif d'analyse 15 spectrale permettant notamment de séparer le signal Raman du signal source, et de mesurer les raies d'intérêt du signal Raman.

La source laser 31 est de préférence monochromatique ou sensiblement monochromatique. A titre d'exemple, le signal 14 produit par la source laser 31 présente une bande spectrale de 20 largeur à mi-hauteur inférieure à 1 nm. Le signal 14 est par exemple un signal visible ou infrarouge proche, par exemple un signal de longueur d'onde comprise entre 400 et 1000 nm.

Dans l'exemple représenté, le dispositif d'analyse spectrale comprend un démultiplexeur 33 adapté à séparer, en 25 sortie du guide d'onde 10, le signal source 14 (c'est-à-dire le signal à la longueur d'onde ou aux longueurs d'ondes émises par la source) du signal Raman, et à isoler différentes composantes du signal Raman. Plus particulièrement, dans cet exemple, le démultiplexeur 33 comprend plusieurs voies ou guides d'ondes de 30 sortie, sept voies R1, R2, R3, R4, R5, R6 et R7 dans l'exemple illustratif et non limitatif représenté, fournissant des signaux dans des plages spectrales distinctes, correspondant par exemple à des raies distinctes du signal Raman. A titre d'exemple, pour un signal source 14 de longueur d'onde moyenne comprise entre 400 35 à 1000 nm, les décalages spectraux des signaux Raman Stokes par

rapport au signal source peuvent être de l'ordre de 15 à 150 nm selon les molécules contenues dans l'échantillon. La plage de longueurs d'ondes du signal Raman est par exemple décomposée par le démultiplexeur en bandes consécutives d'environ 0,5 nm de large. Selon l'application visée, on pourra analyser uniquement le signal Raman Stokes, uniquement le signal Raman anti-Stokes, ou le signal Raman Stokes et le signal Raman anti-Stokes. A titre d'exemple, le démultiplexeur peut comporter 30 à 300 voies de sortie. Le démultiplexeur 33 est par exemple un démultiplexeur à résonateurs, par exemple un démultiplexeur à microdisques ou à anneaux résonants. Un exemple de réalisation d'un démultiplexeur de ce type est notamment décrit dans l'article intitulé "Si micro-ring MUX/DeMUX WDM filters" de S. Park et al. A titre de variante, pour limiter le nombre d'éléments résonnants, le démultiplexeur peut comprendre des anneaux résonnants modulables en longueur d'onde, par exemple tel que décrit dans l'article intitulé "Highly-efficient thermally-tuned resonant optical" de J.E. Cunningham et al.. Dans ce cas, l'analyse spectrale est réalisée en balayant séquentiellement les différentes longueurs d'onde d'intérêt. Le démultiplexeur comprend par exemple un ou plusieurs anneaux résonnants modulables thermiquement. A titre de variante, le démultiplexeur 33 est un démultiplexeur dispersif, par exemple un démultiplexeur de type AWG (de l'anglais "Arrayed Waveguide Grating" - réseau de guides d'ondes matricé), basé sur les déphasages différents des différentes longueurs d'ondes par propagation dans des guides d'ondes de longueurs différentes. Un exemple d'un tel démultiplexeur est par exemple décrit dans l'article intitulé "PHASAR-Based WDM-Devices:Principles, Design and Applications", de M.K. Smit et al. A titre de variante, le démultiplexeur 33 comprend un réseau à échelottes. A titre de variante, plusieurs démultiplexeurs de même type ou de types différents peuvent être cascades.

De préférence, pour faciliter la détection des différentes raies d'intérêt du signal Raman, le démultiplexeur 33 comprend un étage amont adapté à filtrer (bloquer ou atténuer) le

signal source 14 (ou signal Rayleigh). En effet, lorsque le signal Rayleigh est injecté sans atténuation préalable dans l'étage de démultiplexage proprement dit, il peut provoquer un bruitage significatif du signal Raman. A titre d'exemple, l'étage amont de
5 filtrage du signal Rayleigh peut comprendre un ou plusieurs éléments résonants à la longueur d'onde du signal source 14, par exemple des anneaux résonants.

Dans cet exemple, le dispositif d'analyse spectrale comprend en outre un capteur 35 adapté à mesurer l'intensité
10 lumineuse des signaux fournis par les différentes voies de sortie du démultiplexeur 33. A titre d'exemple, le capteur peut comporter une barrette de détecteurs SPAD (de l'anglais "Single Photon Avalanche Diode" - diode à avalanche à déclenchement par photon unique), ou tout autre type de photodétecteur sensible aux
15 longueurs d'ondes considérées.

On notera que bien que cela n'ait pas été représenté sur la figure 1, des réseaux de couplage/découplage peuvent être disposés respectivement entre la source laser 31 et l'entrée du guide d'onde 10, et entre les différentes voies de sortie du
20 démultiplexeur 33 et le capteur 35. A titre d'exemple, ces réseaux peuvent être adaptés à dévier la lumière depuis/vers des directions non parallèles au plan moyen de l'ensemble formé par le guide d'onde 10 et le démultiplexeur 33, ce qui élargit les possibilités d'intégration du système complet. A titre d'exemple,
25 les détecteurs du capteur 35 peuvent être réalisés dans un substrat en silicium sous-jacent aux guides 10 et 12 et au démultiplexeur 33, par exemple le substrat 23 de la figure 2. De plus, le laser 31 peut par exemple être formé sous le niveau du guide d'onde 10, par intégration hétérogène de matériaux de groupe
30 III-V. Les réseaux de couplage/découplage peuvent par exemple être formés par gravure partielle du guide d'onde 10 et des guides d'ondes formant les voies de sortie du démultiplexeur 33, puis par remplissage des zones gravées d'un matériau de plus faible indice.

La figure 4 est une vue en perspective schématique et partielle illustrant une variante de réalisation d'un dispositif de détection SERS du type décrit en relation avec les figures 1 à 3. Plus particulièrement, la figure 4 illustre une variante de réalisation de la structure de couplage décrite en relation avec les figures 1 et 2.

La structure de couplage de la figure 4 comprend les mêmes éléments que la structure de couplage des figures 1 et 2, agencés de façon similaire ou identique. La structure de la figure 4 diffère de la structure des figures 1 et 2 en ce que le guide d'onde 10 comprend, en amont de la zone de couplage avec le guide métallique à fente 12, c'est-à-dire dans la portion du guide d'onde 10 comprise entre la source laser 31 (figure 3) et la zone de couplage avec le guide métallique à fente 12, un élément 41 réflecteur pour le signal Raman 16 et transparent pour le signal source 14, par exemple un miroir de Bragg. En effet, comme l'illustre la figure 4, une partie du signal Raman généré dans la fente du guide métallique 12 lors de l'interaction de la lumière guidée avec l'échantillon à analyser, est susceptible d'être déviée non pas en direction de la sortie du guide d'onde 10, mais vers son entrée. L'élément 41 permet de renvoyer cette partie du signal Raman en direction du dispositif d'analyse spectrale, et ainsi d'augmenter l'intensité du signal Raman collecté par le dispositif d'analyse spectrale.

Dans l'exemple de la figure 4, un seul élément réfléchissant 41 a été représenté. Cet exemple correspond au cas où seul le signal Raman Stokes est analysé ou au cas où seul le signal Raman anti-Stokes est analysé. Ainsi, l'élément 41 est adapté à réfléchir uniquement le signal Raman Stokes, ou uniquement le signal Raman anti-Stokes, et est transparent aux autres longueurs d'ondes.

La figure 5 illustre une variante de réalisation du dispositif de la figure 4, dans laquelle deux éléments réfléchissants, respectivement 41 et 51, par exemple des miroirs de Bragg, sont disposés dans la partie du guide d'onde 10 située

entre la source laser 31 (figure 3) et la zone de couplage avec le guide métallique à fente 12. A titre d'exemple, l'élément 41 est réfléchissant pour le signal Raman Stokes et transparent pour le signal source et pour le signal Raman anti-Stokes, et l'élément 51 est réfléchissant pour le signal Raman anti-Stokes et transparent pour le signal source et pour le signal Raman Stokes.

La figure 6 est une vue en perspective schématique et partielle illustrant une autre variante de réalisation d'un dispositif de détection SERS du type décrit en relation avec les figures 1 à 3. Plus particulièrement, la figure 6 illustre une variante de réalisation de la structure de couplage décrite en relation avec les figures 1 et 2.

La structure de couplage de la figure 6 diffère de la structure des figures 1 et 2 essentiellement en ce que, dans la structure de la figure 6, le guide d'onde 10 est formé par deux éléments 10a et 10b, de préférence alignés selon un même axe longitudinal, espacés d'une distance e selon l'axe longitudinal du guide. Une première extrémité de l'élément 10a opposée à l'élément 10b est couplée à la source laser 31 (figure 3). La deuxième extrémité de l'élément 10a est tournée vers une première extrémité de l'élément 10b. La deuxième extrémité de l'élément 10b (opposée à l'élément 10a) est couplée au dispositif d'analyse spectrale.

Le guide métallique à fente 12 est disposé de manière à recouvrir l'espace entre les éléments 10a et 10b, et à recouvrir partiellement les éléments 10a et 10b du côté de leurs extrémités en regard, sur des longueurs de recouvrement $L1$ et $L2$ respectivement. Ainsi, dans cet exemple, la longueur du guide métallique à fente 12 est égale à $L1+e+L2$. Ceci permet de réaliser un premier couplage entre l'élément 10a du guide d'onde 10 et le guide métallique à fente 12, puis un second couplage entre le guide métallique à fente 12 et l'élément 10b du guide d'onde 10. De préférence, les longueurs de recouvrement $L1$ et $L2$ des éléments 10a et 10b sont sensiblement égales. En outre, les longueurs $L1$ et $L2$ sont de préférence sensiblement égales à la moitié de la

longueur de battement L_b à la longueur d'onde de travail considérée.

Un avantage du mode de réalisation de la figure 6 est que, à la différence du mode de réalisation des figures 1 et 2, la lumière peut se propager dans le guide à fente métallique 12 sur une distance supérieure à la longueur de battement de la structure, avant d'être réinjectée dans le guide d'onde 10 par couplage, ce qui permet d'augmenter la durée pendant laquelle le phénomène SERS se produit.

Un avantage des modes de réalisation décrits est qu'ils permettent de réaliser un dispositif de détection SERS particulièrement simple et compact, et présentant un prix de revient limité.

En particulier, l'ensemble des éléments du dispositif de détection décrit en relation avec les figures 1 à 6 peut être réalisé selon des procédés connus de fabrication de composants électroniques ou optoélectroniques intégrés.

En fonction de l'application envisagée, l'ensemble des éléments décrits peut être intégré dans un même composant optoélectronique, ce composant étant de préférence réalisé à partir d'un substrat semiconducteur pour pouvoir réaliser le capteur 35. A titre de variante, la structure de couplage et le démultiplexeur sont intégrés dans un même composant, la source laser 31 et le capteur 35 étant des éléments séparés, couplés respectivement à l'entrée du guide d'onde 10 et à la sortie du démultiplexeur 33, par exemple par des fibres optiques.

Des modes de réalisation particuliers ont été décrits. Diverses variantes et modifications apparaîtront à l'homme de l'art.

En particulier, les modes de réalisation décrits ne sont pas limités aux exemples de matériaux et de grandeurs numériques mentionnés dans la description ci-dessus.

Par ailleurs, plusieurs dispositifs de détection SERS du type décrit ci-dessus peuvent être associés en parallèle, les démultiplexeurs des différents dispositifs étant configurés pour

traiter des plages de longueurs d'ondes différentes du signal Raman, de façon à accroître la plage totale de détection et donc le nombre d'espèces détectables. Dans ce dernier cas, les différents dispositifs peuvent comprendre des sources laser de

5 longueurs d'ondes différentes.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de détection à diffusion Raman amplifiée de surface, comportant :

un guide d'onde (10) ;

un guide métallique à fente (12) recouvrant
5 partiellement le guide d'onde (10) ;

une source laser (31) couplée à une première extrémité du guide d'onde (10) ; et

un dispositif d'analyse spectrale (33, 35) couplé à une
deuxième extrémité du guide d'onde (10).

10 2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le guide d'onde (10) et le guide métallique à fente (12) sont agencés de façon à obtenir un couplage électromagnétique entre les deux guides pour un signal lumineux (14) généré par la source laser (31).

15 3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le guide métallique à fente (12) est adapté à contenir un échantillon à analyser, et dans lequel le dispositif d'analyse spectrale (33, 35) est configuré pour mesurer différentes composantes d'un signal de diffusion Raman produit dans le guide
20 métallique à fente (12) lors de l'interaction de la lumière émise par la source laser (31) avec l'échantillon.

4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel le dispositif d'analyse spectrale comprend un démultiplexeur (33) et un photodétecteur (35) adapté à mesurer
25 l'intensité lumineuse fournie par des voies de sorties distinctes du démultiplexeur (33).

5. Dispositif selon la revendication 4, dans lequel le démultiplexeur (33) comprend une pluralité d'éléments résonants tels que des disques ou des anneaux.

30 6. Dispositif selon la revendication 4, dans lequel le démultiplexeur (33) comprend un réseau dispersif de guides d'ondes.

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, dans lequel le démultiplexeur (33) comprend un étage de filtrage du signal émis par la source laser (31).

5 8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 4 à 7, dans lequel le guide d'onde (10), le guide métallique à fente (12) et le démultiplexeur (33) sont disposés sur un même substrat de support (23) et forment un même composant d'optique intégrée.

10 9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel une portion du guide d'onde (10) située entre la première extrémité du guide d'onde (10) et la zone de recouvrement du guide d'onde (10) par le filtre métallique à fente (12) comprend un premier élément (41) transparent pour le signal (14) émis par la source laser (31) et réfléchissant pour un signal (16) obtenu par diffusion Raman Stokes du signal (14) émis par la source laser (31).

20 10. Dispositif selon la revendication 9, comportant en outre un deuxième élément (51) transparent pour le signal (14) émis par la source laser (31) et réfléchissant pour un signal (16) obtenu par diffusion Raman anti-Stokes du signal (14) émis par la source laser (31).

25 11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, dans lequel le guide d'onde (10) comprend des première (10a) et deuxième (10b) portions distantes alignées, et dans lequel le guide métallique à fente (12) recouvre partiellement les première (10a) et deuxième (10b) portions ainsi que l'espace séparant les première (10a) et deuxième (10b) portions.

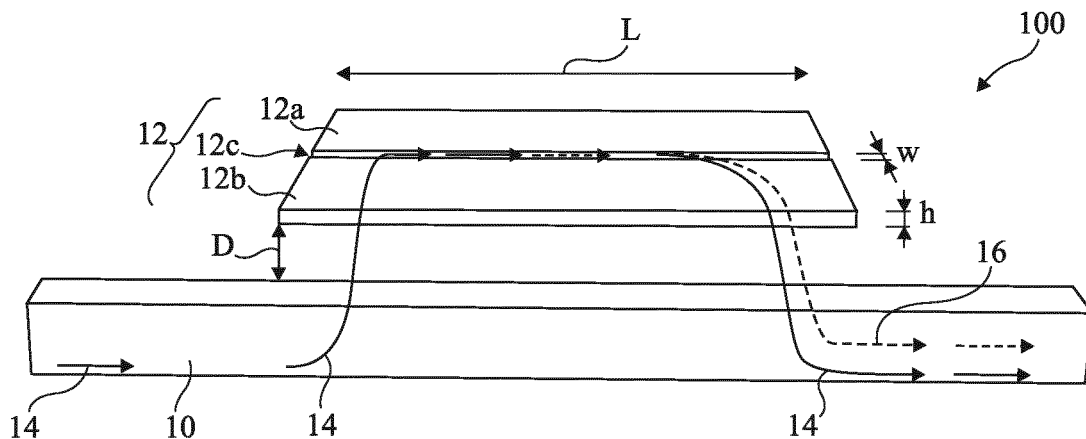


Fig 1

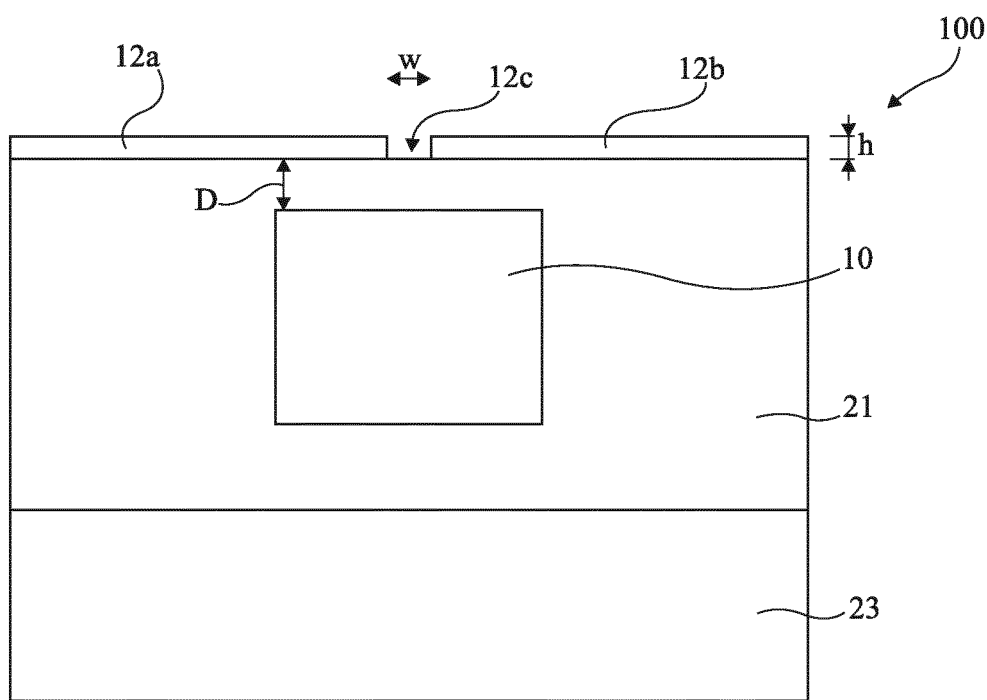


Fig 2

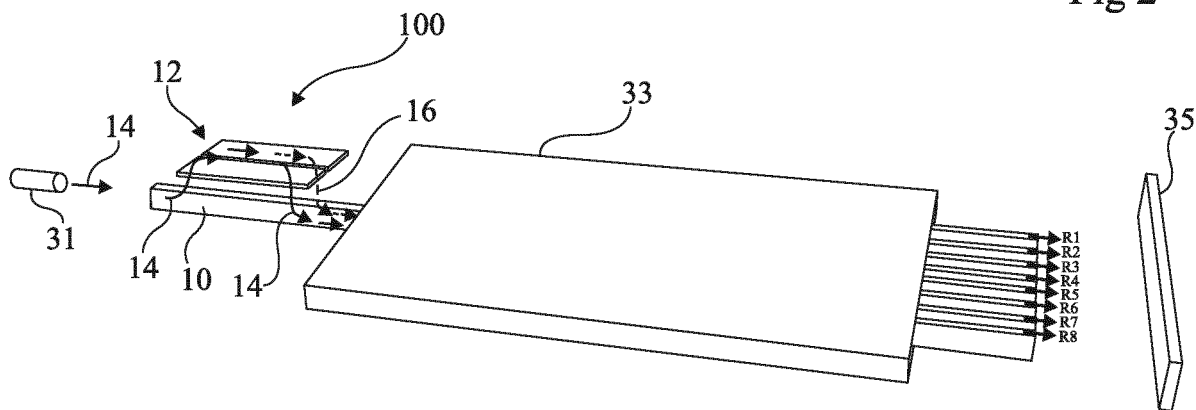


Fig 3

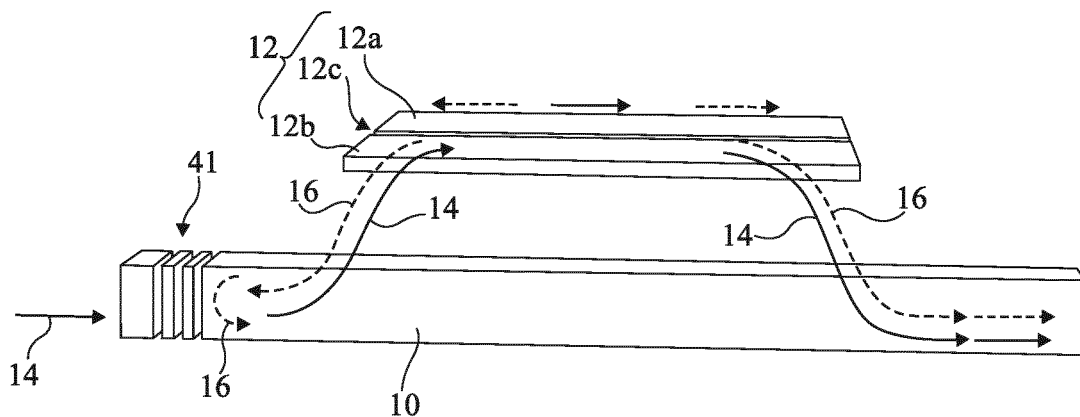


Fig 4

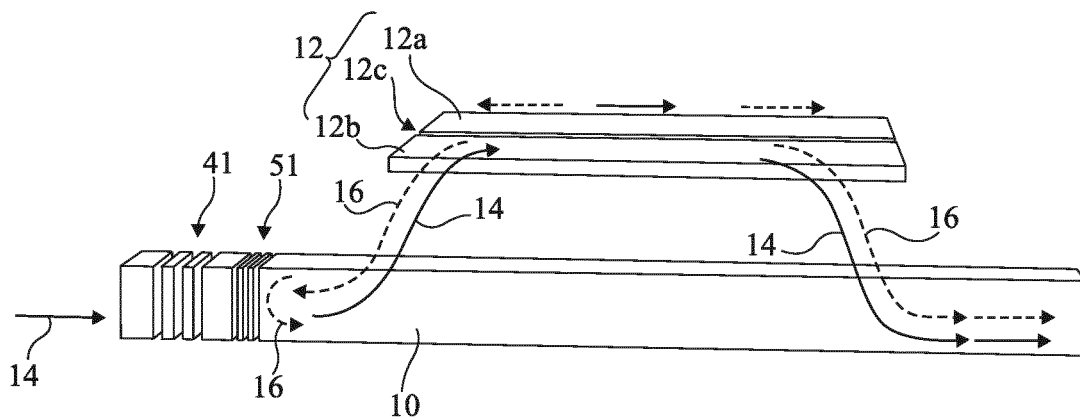


Fig 5

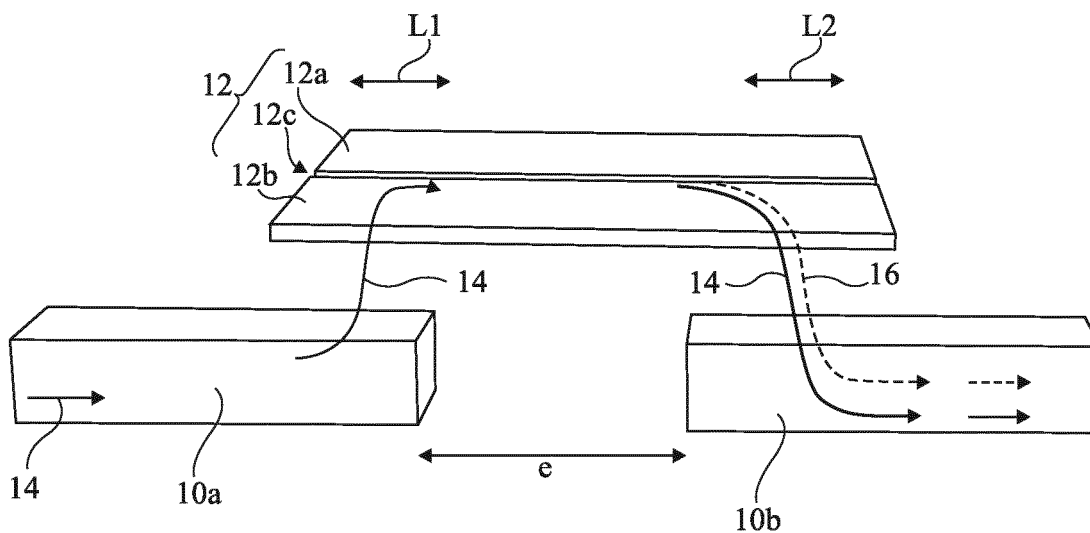


Fig 6



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

FA 813910
FR 1558053

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
Y	US 2009/245718 A1 (LI ZHIYONG [US] ET AL) 1 octobre 2009 (2009-10-01) * alinéas [0027], [0032], [0057], [0065], [0066], [0071], [0072], [0079] * * figure 2A *	1-3	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
Y	ANDREAS WILK ET AL: "Substrate-Integrated Hollow Waveguides: A New Level of Integration in Mid-Infrared Gas Sensing", ANALYTICAL CHEMISTRY, vol. 85, no. 23, 3 décembre 2013 (2013-12-03), pages 11205-11210, XP55286308, ISSN: 0003-2700, DOI: 10.1021/ac402391m * figure 1(a) * * page 11206, colonne de gauche *	1-3	
Y	COUNY F ET AL: "Enhanced SRS in H2 filled hollow core photonic crystal fibre by use of fibre Bragg grating", JOURNAL OF OPTICS. A, PURE AND APPLIED OPTICS, INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING, BRISTOL, GB, vol. 9, no. 2, 1 février 2007 (2007-02-01), pages 156-159, XP020123275, ISSN: 1464-4258, DOI: 10.1088/1464-4258/9/2/006 * figure 1(b) * * page 157, colonne de gauche *	9,10	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
7 juillet 2016		D'Alessandro, Davide	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p>		<p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>	

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14) 2

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1558053 FA 813910**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **07-07-2016**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2006164637 A1	27-07-2006	US 2006164637 A1 WO 2006081566 A1	27-07-2006 03-08-2006
EP 2749866 A1	02-07-2014	EP 2749866 A1 US 2014185042 A1	02-07-2014 03-07-2014
WO 2011070249 A1	16-06-2011	EP 2510391 A1 FR 2953607 A1 US 2012251030 A1 WO 2011070249 A1	17-10-2012 10-06-2011 04-10-2012 16-06-2011
US 2009245718 A1	01-10-2009	AUCUN	